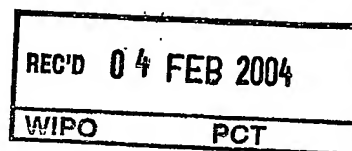


# BREVET D'INVENTION

BEST AVAILABLE COPY

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION



**COPIE OFFICIELLE**

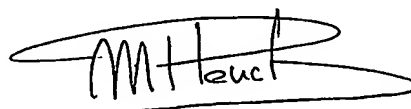
Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**

Fait à Paris, le 26 SEP. 2003

**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets



Martine PLANCHE

**DOCUMENT DE PRIORITÉ**

**PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA  
RÈGLE 17.1.a) OU b)**

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr

**REQUÊTE EN DÉLIVRANCE**  
**page 1/2**



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

03 540 0 11 / 210502

<b>REMISE DES PIÈCES</b> <b>DATE</b> 25 NOV 2002 <b>LIEU</b> 75 INPI PARIS <b>N° D'ENREGISTREMENT</b> 0214737 <b>NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI</b> <b>DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI</b> 25 NOV. 2002		<b>NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</b> <b>BREVATOME</b> 3, rue du Docteur Lancereux 75008 PARIS 422-5 S/002	
<b>Vos références pour ce dossier (facultatif)</b> B14222.3/CS DD 2401			
<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b>		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie	
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		<b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b>	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
<i>Demande de brevet initiale</i> <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i>		N° _____ Date _____ N° _____ Date _____	
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		<input type="checkbox"/> N° _____ Date _____	
<b>3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b> CIRCUIT DE TRAITEMENT AMELIORE POUR CHAÎNE DE SPECTROMETRIE ET CHAÎNE DE SPECTROMETRIE UTILISANT UN TEL CIRCUIT.			
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<b>5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)</b>		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique	
Nom ou dénomination sociale		COMMISSARIAT A L' ENERGIE ATOMIQUE	
Prénoms			
Forme juridique		Etablissement de caractère Scientifique, Technique et Industriel	
N° SIREN		_____	
Code APE-NAF		_____	
Domicile ou siège	Rue	31-33 rue de la Fédération	
	Code postal et ville	[7,5,7,5,2] PARIS 15ème	
	Pays	FRANCE	
Nationalité		FRANCAISE	
N° de téléphone (facultatif)		N° de télécopie (facultatif) 0	
Adresse électronique (facultatif)			

<b>REMISE DES PIÈCES</b> DATE <b>25 NOV 2002</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0214737</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	DB 540 W / 210302
<b>1 MANDATAIRE (s'il y a lieu)</b>			
Nom		SIMONNET	
Prénom		Christine	
Cabinet ou Société		BREVATOME 422.5/S002	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		7068 du 12.06.98	
Adresse	Rue	3, rue du Docteur Lancereaux	
	Code postal et ville	75 008 PARIS	
	Pays	FRANCE	
N° de téléphone (facultatif)		01 53 83 94 00	
N° de télécopie (facultatif)		01 45 63 83 33	
Adresse électronique (facultatif)		brevets.patents@brevaalex.com	
<b>2 INVENTEUR(S)</b>			
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)	
<b>3 RAPPORT DE RECHERCHE</b>			
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> Établissement immédiat <input type="checkbox"/> Établissement différé	
Paiement échelonné de la redevance (en deux versements)		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
<b>4 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence): AG	
<b>5 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS</b>		<input type="checkbox"/> Cochez la case si la description contient une liste de séquences	
Le support électronique de données est joint		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
<b>6 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)  CH. SIMONNET		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b>  M. ROCHE	

CIRCUIT DE TRAITEMENT AMELIORE POUR CHAINE DE  
SPECTROMETRIE ET CHAINE DE SPECTROMETRIE UTILISANT UN  
TEL CIRCUIT

5    DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention est relative à un circuit de traitement pour chaîne de spectrométrie et une chaîne de spectrométrie dotée d'un tel circuit. Une chaîne de spectrométrie est un dispositif apte à  
10 mesurer l'énergie d'un rayonnement particulaire incident sur un détecteur de rayonnement. Une telle chaîne de spectrométrie permet également de compter le nombre de particules incidentes par unité de temps. Par rayonnement particulaire, on entend l'émission ou le  
15 transfert d'énergie sous forme de particules. Le rayonnement peut être constitué par exemple de photons (les photons étant considérés comme des particules élémentaires stables), être un rayonnement gamma qui est un rayonnement composé de photons émis au cours  
20 d'un processus de transition nucléaire ou d'annihilation de particules, être un rayonnement X ou un flux de neutrons ou de protons.

Les chaînes de spectrométrie trouvent leur application notamment dans le domaine médical, dans le  
25 contrôle non destructif ou en instrumentation scientifique. Dans le domaine de l'imagerie médicale, les gamma caméras utilisant des détecteurs de rayonnement à deux dimensions se développent rapidement. Avec des détecteurs de rayonnement à une  
30 dimension de nombreuses sondes monovoies apparaissent sur le marché ; il s'agit, par exemple, de sondes

préopératoires, de sondes nucléaires pour le contrôle d'assemblages irradiés, de sondes pour l'instrumentation scientifique.

#### ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

5 Les chaînes de spectrométrie comportent de manière conventionnelle un détecteur de rayonnement particulaire, un circuit de traitement du signal délivré par le détecteur et un circuit d'acquisition du signal délivré par le détecteur après traitement. Les  
10 chaînes de spectrométrie utilisent de préférence des détecteurs de rayonnement à base de semi-conducteurs tels que le CdZnTe, CdTe:Cl, CdTe:In ce qui leur permet de travailler à température ambiante et d'être compactes puisqu'elles n'ont pas besoin de dispositif  
15 de refroidissement. Ces détecteurs de rayonnement présentent d'autres avantages. Puisqu'ils convertissent le rayonnement directement en signal électrique (généralement utilisé sous forme d'un courant électrique) au lieu de passer par le stade de charges  
20 électriques comme lorsqu'on utilise un scintillateur associé à un photomultiplicateur, ils permettent d'obtenir d'excellentes résolutions en énergie.

Le circuit de traitement doit compter et mesurer avec la plus grande précision possible  
25 l'énergie de toutes les particules incidentes ayant interagi avec le détecteur (on parle alors d'efficacité de détection).

Selon les domaines d'utilisation, le rayonnement particulaire incident est constitué d'un  
30 spectre en énergie de particules (photons, neutrons ou protons) plus ou moins nombreuses avec une gamme en

énergies très variables (par exemple de quelques keV à  
 quelques MeV pour une spectrométrie gamma). Il faut  
 donc adapter la géométrie du détecteur semi-conducteur,  
 c'est à dire sa surface et son épaisseur, de manière  
 5 appropriée pour obtenir une efficacité de détection et  
 une sensibilité voulues de la chaîne de spectrométrie.  
 A titre d'exemple, une épaisseur inférieure au  
 millimètre sera suffisante pour arrêter la majorité des  
 photons de basse énergie tandis qu'une épaisseur de  
 10 quelques millimètres voire un centimètre peut être  
 nécessaire pour arrêter les photons de plus haute  
 énergie. Par basse énergie, on entend des énergies  
 inférieures à environ 100 keV.

La difficulté pour obtenir une  
 15 spectrométrie de qualité est plus grande à haute  
 énergie qu'à basse énergie car le volume (c'est à dire  
 le produit de sa surface par son épaisseur) du matériau  
 semi-conducteur du détecteur nécessaire à l'absorption  
 de particules de haute énergie doit être plus grand.  
 20 Une épaisseur importante permet d'arrêter le maximum de  
 particules. La probabilité d'interaction est augmentée.  
 En revanche plus le volume est élevé, plus il est  
 difficile de maintenir un champ homogène tout au long  
 du parcours des charges créées par la conversion dans  
 25 le détecteur et aussi d'éviter les effets de piégeage  
 des charges dans le matériau semi-conducteur.

Ces effets cumulés au fait que des charges  
 d'ionisation sont créées dans des zones différentes du  
 détecteur impliquent que les détecteurs épais délivrent  
 30 des impulsions de courant avec de grandes variations de

forme. Cet effet de variation de forme du courant est connu sous le nom de déficit balistique.

On cherche donc à ce que le circuit de traitement soit adapté à cette grande variation de  
5 forme du courant et qu'il délivre un signal qui traduise avec la meilleure précision possible la valeur de l'énergie des particules incidentes. En d'autres termes on cherche à compenser le déficit balistique et à améliorer le taux de comptage.

10 Les circuits de traitement conventionnels comportent plusieurs étages successifs parmi lesquels le premier est un préamplificateur de charges qui est destiné à être relié au détecteur, le second un filtre d'impulsions et le troisième un étage de mesure de  
15 l'amplitude des impulsions obtenues en sortie du filtre d'impulsions. Un tel circuit de traitement est représenté sur la figure 1.

Le préamplificateur de charges porte la référence 10. C'est un amplificateur A1 réalisé avec  
20 des composants discrets (par exemple un transistor à effet de champ) ou des composants intégrés par exemple de type ASIC, monté en intégrateur de courant. Les amplificateurs opérationnels ne sont pas adaptés à cette fonction car trop bruyants. Un condensateur  
25 d'intégration C1 est monté entre l'entrée et la sortie de l'amplificateur opérationnel A1. L'amplificateur opérationnel A1 reçoit en entrée un signal électrique il qui provient d'un détecteur 11 de rayonnement  
30 particulaire à semi-conducteur. Ce détecteur 11 de rayonnement particulaire est monté en série avec une résistance  $R_p$  dans un pont diviseur 12. Le pont

diviseur 12 est branché entre deux bornes 13, 14 d'alimentation d'une alimentation (non représentée). Ce pont diviseur possède un point commun entre la résistance  $R_p$  et le détecteur 11 et ce point commun est  
 5 relié à l'entrée de l'amplificateur opérationnel par l'intermédiaire d'un condensateur  $C_2$ . Le signal  $i_1$  est un courant en impulsions, il est dit courant détecteur. Ces impulsions peuvent prendre une grande variation de formes.

10 Les courbes A et B de la figure 2 sont des chronogrammes du courant détecteur  $i_1$  en entrée du préamplificateur de charges 10 et de la tension  $v_1$  délivrée en sortie du préamplificateur de charges 10.

Pendant le temps de présence des impulsions  
 15 du courant  $i_1$ , la tension  $v_1$  en sortie du préamplificateur est :

$$v_1 = -1/C_1 \int i_1 dt = -Q/C_1$$

$Q$  est la quantité de charges émises par une particule qui a interagi avec le détecteur 11. En  
 20 sortie du préamplificateur de charges 10, la tension  $v_1$  décroît en l'absence d'impulsion de courant  $i_1$ . Cet intervalle de temps est appelé temps de relaxation  $\tau_1$ . L'information qui correspond à l'énergie des particules est fugitive. Il faut sauvegarder la tension  $v_1$  au plus  
 25 vite après disparition d'une impulsion de courant  $i_1$ .

La tension  $v_1$  est appliquée à l'entrée d'un filtre d'impulsions 15. Il s'agit d'un filtre passe-bande qui permet d'optimiser le rapport signal sur bruit. De nombreux filtres d'impulsions ont été  
 30 développés parmi lesquels les filtres à  $n$  dérivations et  $n$  intégrations, les filtres gaussiens ou semi-



gaussiens, les filtres trapézoïdaux, les filtres  
triangulaires, les filtres numériques. Bien souvent ces  
filtres sont accordables et il est possible par réglage  
des constantes de temps dérivées et intégrales et de  
5 façon expérimentale d'ajuster au mieux le rapport  
signal sur bruit dans la bande de fréquence utile. Il  
est connu que les filtres semi-gaussiens ou  
triangulaires conviennent bien pour des forts taux de  
comptage car ils permettent une mise en forme plus  
10 rapide des impulsions.

Le but est d'obtenir en sortie du filtre  
passe-bande 15 des impulsions de tension dont  
l'amplitude  $A_m$  est proportionnelle à l'énergie des  
particules qui ont interagi avec le détecteur 11. La  
15 courbe C de la figure 2 montre la tension  $v_2$  présente  
en sortie du filtre d'impulsions 15. On remarque que le  
filtre d'impulsions 15 altère l'information temporelle  
correspondant à la durée du courant  $i_1$  fourni par le  
détecteur 11. La largeur des impulsions est augmentée à  
20 cause de la dérivation et de l'intégration réalisées  
par le filtre d'impulsions. Cet effet diminue le taux  
de comptage maximum admissible en augmentant le nombre  
d'étages dans le circuit de traitement.

Il se peut que la venue d'une impulsion de  
25 courant détecteur  $i_1$  de rang  $i$  ( $i$  entier supérieur ou  
égal à 2) intervienne avant que la tension  $v_2$  n'ait pu  
reprendre la valeur qu'elle avait au début de  
l'impulsion de courant détecteur  $i_1$  de rang  $i-1$ . Si  
l'amplitude de la tension  $v_2$  lors de l'impulsion de  
30 courant détecteur  $i_1$  de rang  $i-1$  vaut  $A_m$ , l'amplitude  
de la tension  $v_2$  lors de l'impulsion de courant

détecteur  $i1$  de rang  $i$  vaut  $A_{m+e1}$  et l'amplitude de la tension  $v2$  lors de l'impulsion de courant détecteur  $i1$  de rang  $i+1$  vaut  $A_{m+e2}$ . L'amplitude de la tension  $v2$  est entachée d'autant plus d'erreurs que le taux de  
 5 comptage est élevé.

Un autre inconvénient du filtre d'impulsions 15 est sa mauvaise linéarité quand il est employé avec des détecteurs épais qui délivrent des impulsions de courant avec de grandes variations de  
 10 forme possible. Cet inconvénient correspond à l'erreur de déficit balistique. Pour essayer de réduire cette erreur, il est connu de choisir la constante de temps du filtre très supérieure à la durée des impulsions du courant détecteur  $i1$ . Cette solution est contradictoire  
 15 avec le souhait d'obtenir une tension  $v2$  avec des impulsions de courte durée, ce qui permet un fort taux de comptage.

La sortie du filtre d'impulsions est reliée à des moyens 16 de mesure de l'amplitude des impulsions  
 20 obtenues en sortie du filtre d'impulsions 15. Plusieurs montages peuvent être employés pour réaliser ces moyens de mesure d'amplitude 16. On peut citer par exemple un détecteur de crêtes à base de diodes ou un intégrateur actif susceptible d'être commandé par commutation. Il  
 25 est communément admis que l'intégrateur susceptible d'être commandé par commutation permet d'obtenir des taux de comptage plus élevés.

Les moyens de mesure d'amplitude 16 de la figure 1 comportent un amplificateur opérationnel  $A2$   
 30 monté en intégrateur. Un condensateur d'intégration  $C3$  est monté entre l'entrée et la sortie de

l'amplificateur opérationnel A2. Une résistance R3 a une extrémité reliée à l'entrée de l'amplificateur opérationnel et une autre extrémité reliée à la sortie du filtre d'impulsions 15 par l'intermédiaire d'un premier commutateur SW1. Un second commutateur SW2 est monté en parallèle avec le condensateur d'intégration C3. Il sert à la remise à zéro de l'intégrateur.

On se réfère maintenant à la figure 3 qui représente sous forme de chronogrammes et de manière schématique respectivement le signal en impulsion v2 délivré par le filtre d'impulsions (courbe A) et le signal v3 délivré par les moyens de mesure de l'amplitude des impulsions obtenues en sortie du filtre d'impulsions (courbe B). Avant que le signal v2 issu du filtre d'impulsions 15 n'arrive en entrée des moyens de mesure d'amplitude 16, c'est à dire antérieurement à un instant  $t_0$ , le premier commutateur SW1 est ouvert et le second commutateur SW2 est fermé. Dès que le signal v2 franchit un seuil s, à l'instant  $t_0$ , le premier commutateur SW1 se ferme et le second commutateur SW2 s'ouvre. Les moyens de mesure d'amplitude 16 commencent à intégrer le signal v2 jusqu'à un instant  $t_1$  qui marque le passage du signal v2 au-dessous du seuil s. A cet instant  $t_1$ , le premier commutateur SW1 s'ouvre. Le signal v3 délivré par les moyens de mesure d'amplitude 16 a une amplitude  $kA_m$  qui est proportionnelle à l'amplitude  $A_m$  du signal v2. Mais cette amplitude  $kA_m$  n'est proportionnelle à l'énergie de la particule ayant interagi avec le détecteur 11 que dans la mesure où l'amplitude  $A_m$  traduisait fidèlement l'énergie de la particule ayant interagi avec le détecteur 11. On a vu

précédemment que cela n'était pas toujours le cas à cause des défauts apportés par le filtre d'impulsions 15.

De l'instant  $t_1$  à un instant  $t_2$ , le signal  
5  $v_3$  est maintenu sensiblement constant de manière à pouvoir sauvegarder son amplitude dans un dispositif d'acquisition 17 relié à la sortie des moyens de mesure de l'amplitude 16. A partir de l'instant  $t_2$ , le second commutateur SW2 est fermé ce a qui pour effet de  
10 ramener le signal  $v_3$  à zéro. Les moyens de mesure de l'amplitude 16 sont alors prêts à traiter une nouvelle particule.

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de  
15 réaliser un circuit de traitement pour une chaîne de spectrométrie ne présentant pas les limitations et difficultés ci-dessus, ces difficultés étant apportées notamment par le filtre d'impulsions.

Elle a pour but de proposer un circuit de  
20 traitement pour une chaîne de spectrométrie qui soit susceptible de délivrer un signal traduisant avec précision l'énergie des particules incidentes et ce même avec des taux de comptage élevés.

Pour y parvenir l'invention préconise de  
25 remplacer le filtre d'impulsions par un dérivateur délivrant un signal qui est une image fidèle de celui qui provient du détecteur de rayonnement et qui est représentatif de l'énergie de . particules qui interagissent avec le détecteur.

30 Plus précisément la présente invention est un circuit de traitement pour chaîne de spectrométrie

incluant un détecteur de rayonnement particulaire, ce circuit de traitement comportant un étage préamplificateur de charges recevant un courant du détecteur représentatif de la quantité de charges émises par une particule qui a interagi avec le détecteur, et un étage intégrateur. Un étage dérivateur est branché entre l'étage préamplificateur de charges et l'étage intégrateur, l'étage dérivateur recevant un signal issu de l'étage préamplificateur de charges et délivrant à l'étage intégrateur un signal image du courant détecteur, l'étage intégrateur délivrant une image de la quantité de charges émises par une particule qui a interagi avec le détecteur.

L'étage préamplificateur de charges peut comporter un amplificateur discret ou intégré monté en intégrateur de courant.

L'étage dérivateur peut comporter un amplificateur opérationnel monté en dérivateur (connu sous la dénomination "differentiator" en langue anglaise).

L'étage intégrateur peut comporter un amplificateur opérationnel monté en intégrateur.

Le courant détecteur est en impulsions et de préférence, l'étage intégrateur comporte des moyens de commande de la durée de l'intégration pendant des durées sensiblement égales à la durée de chaque impulsion du courant détecteur. De cette manière, le circuit intégrateur est auto-adapté au courant détecteur.

Les moyens de commande de la durée de l'intégration peuvent comporter un premier commutateur

inséré entre l'intégrateur et la sortie de l'étage dérivateur, un second commutateur de remise à zéro de l'intégrateur, un circuit logique de commande des commutateurs, un comparateur pour activer le circuit  
5 logique en fonction du résultat d'une comparaison entre le signal image du courant détecteur et un seuil.

La présente invention concerne également une chaîne de spectrométrie qui comporte un circuit de traitement ainsi caractérisé en aval du détecteur de  
10 rayonnement particulaire.

Une telle chaîne de spectrométrie conserve une bonne linéarité sur une grande gamme d'énergie à mesurer.

Un autre but de l'invention est de proposer  
15 une chaîne de spectrométrie dont le déficit balistique est compensé et dont le taux de comptage est amélioré.

Encore un autre but de l'invention est de proposer une chaîne de spectrométrie qui peut fonctionner sans aucune modification avec plusieurs  
20 modèles de détecteurs.

La chaîne de spectrométrie peut comporter de plus, un circuit d'acquisition du signal délivré par l'étage intégrateur du circuit de traitement, ce circuit d'acquisition comportant un convertisseur  
25 analogique numérique suivi d'une mémoire.

Un signal délivré par le circuit logique peut conditionner la durée de l'acquisition.

Le détecteur peut être inséré avec une résistance dans un montage de pont diviseur.

30 Le détecteur est avantageusement un détecteur à semi-conducteur.

Le matériau semi-conducteur peut être choisi dans le groupe comprenant CdZnTe, CdTe:Cl, CdTe:In.

#### BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

- 5                    La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :
- 10                    la figure 1 (déjà décrite) montre un schéma électrique d'une chaîne de spectrométrie de l'art antérieur ;
- la figure 2 (déjà décrite) montre des chronogrammes illustrant, avec la référence A, le
- 15                    courant  $i_1$  délivré par le détecteur de rayonnement particulaire, avec la référence B, la tension  $v_1$  délivrée par le préamplificateur de charges et avec la
- référence C, la tension  $v_2$  délivrée par le filtre d'impulsions de la chaîne de spectrométrie de la figure
- 20                    1 ;
- la figure 3 (déjà décrite) montre des chronogrammes illustrant, avec la référence A, une
- impulsion de la tension  $v_2$  et avec la référence B, la
- tension  $v_3$  délivrée par une chaîne de spectrométrie
- 25                    comparable à celle de la figure 1 ;
- la figure 4 est un schéma électrique d'un circuit de traitement conforme à l'invention et d'une
- chaîne de traitement incluant un tel circuit de traitement ;
- 30                    la figure 5 montre des chronogrammes illustrant avec la référence A, le courant détecteur  $I_1$

reçu par le circuit de traitement de la figure 4, avec la référence B, la tension V1 présente en sortie de l'étage préamplificateur de charges, avec la référence C, la tension V2 présente en sortie de l'étage dérivateur, avec la référence D, la tension V3 présente en sortie de l'étage intégrateur, avec la référence E, le signal ACT délivré par le comparateur et avec la référence F, le signal CLACQ délivré au circuit d'acquisition ;

la figure 6 montre respectivement, avec les références A et B, des variations de la tension obtenue en sortie du préamplificateur de charges et du circuit dérivateur d'un circuit de traitement selon l'invention en phase de test ;

la figure 7 montre l'allure du diagramme de Bode du filtre passe-haut constitué par l'étage dérivateur du circuit de traitement selon l'invention ;

la figure 8 montre l'allure du diagramme de Bode du filtre passe-bande que constitue l'ensemble formé par l'étage dérivateur et l'étage intégrateur du circuit de traitement selon l'invention ;

la figure 9 illustre la linéarité d'une chaîne de spectrométrie selon l'invention.

Des parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures décrites ci-après portent les mêmes références numériques de façon à faciliter le passage d'une figure à l'autre.

Les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas nécessairement selon une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.



## EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

On se réfère maintenant à la figure 4 qui montre un schéma électrique d'un circuit de traitement selon l'invention dont est dotée une chaîne de spectrométrie selon l'invention. Comme dans l'art antérieur, le circuit de traitement est destiné à coopérer avec un détecteur 21, il comporte trois étages successifs référencés respectivement 20, 25, 26. On suppose que le détecteur 21 est comparable à celui de la figure 1 et qu'il est inclus dans un montage de pont diviseur 22, incluant une résistance R'p, sur lequel on ne revient pas dans un but de simplification. Les bornes d'alimentation portent respectivement les références 23, 24.

L'étage 20 est également comparable à celui de la figure 1. Il s'agit d'un préamplificateur de charges. Il comporte un amplificateur discret ou intégré par exemple de type ASIC A'1 monté en intégrateur de courant. Un condensateur d'intégration C'1 est monté entre l'entrée et la sortie du préamplificateur A'1. Ce dernier a une entrée qui est reliée au point commun du diviseur de tension 22 par l'intermédiaire d'un condensateur C'2. Le préamplificateur de charges reçoit donc un courant I1 (dit courant détecteur) délivré par le détecteur 21 lorsque des particules interagissent avec lui. Il délivre un signal V1 tel que :

$$V1(t) = -\frac{1}{C'1} \int I1(t) dt = -Q'/C'1 \quad (1)$$

$Q'$  est la quantité de charges émises par une particule qui a interagi avec le détecteur 21.

La différence essentielle par rapport à la chaîne de spectrométrie de l'art antérieur est que l'étage suivant 25 n'est plus formé d'un filtre d'impulsions mais d'un dérivateur. De manière conventionnelle, ce dérivateur comporte un amplificateur opérationnel  $A'$  avec une résistance  $R'$  branchée entre son entrée et sa sortie. L'entrée de l'amplificateur opérationnel est branchée à la sortie de l'étage préamplificateur de charges 20 par l'intermédiaire d'un condensateur  $C'$ . Le dérivateur 25 réalise la fonction mathématique dérivée par rapport au temps sur le signal  $V_1(t)$  présent en sortie de l'étage préamplificateur de charges 20. L'étage dérivateur 25 délivre une tension  $V_2(t)$  tel que :

$$V_2(t) = R'C' dV_1(t)/dt \quad (2)$$

En combinant les expressions (1) et (2), il vient que la tension en sortie de l'étage dérivateur s'exprime par:

$$V_2(t) = \frac{R'C'}{C_1} I_1(t) \quad (3)$$

Le signal  $V_2(t)$  est un signal proportionnel au courant détecteur  $I_1(t)$ , il est dit signal image du courant détecteur  $I_1(t)$ .

La figure 5 illustre avec les références A, B, C des chronogrammes des signaux  $I_1$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  qui sont respectivement le courant détecteur, la tension en sortie de l'étage préamplificateur et la tension en sortie de l'étage dérivateur. Le signal  $V_2(t)$  est un signal en impulsions dont la durée comprise entre les instants  $t'_0$  et  $t'_1$  correspond sensiblement à la durée

des impulsions du courant détecteur. Le signal  $V_2(t)$  correspond à la dérivée mathématique du signal  $V_1(t)$ . Il prend donc un signe positif pour les pentes croissantes de  $V_1(t)$  et un signe négatif pour les pentes décroissantes.

Le rapport d'amplification qui est le rapport  $\frac{R'C'}{C_1}$  est choisi le plus grand possible. Dans l'exemple qui sera développé par la suite le rapport d'amplification est choisi égal à  $10^7 \Omega$

On configure la partie active du dérivateur (c'est à dire son amplificateur opérationnel  $A'$ ) pour qu'il soit suffisamment rapide et délivre un signal  $V_2$  avec des fronts raides de manière à ce qu'il traduise le plus fidèlement possible l'information temporelle du courant détecteur  $I_1$ .

L'étage dérivateur 25 est un étage qui n'est pratiquement pas générateur de bruit. Ramené à son entrée, le bruit propre de l'étage dérivateur 25 est bien inférieur au bruit apporté par le premier étage 20 du préamplificateur de charges. Typiquement, il peut être inférieur à un pour cent du bruit apporté par le préamplificateur de charges. A titre d'exemple, la figure 6 illustre, à partir de mesures obtenues à l'aide d'une chaîne de spectrométrie selon l'invention, l'allure des signaux  $V_1$  (courbe A) et  $V_2$  (courbe B): les impulsions pratiquement invisibles sur la courbe A le sont très bien sur la courbe B.  $V_2$  est une image du courant  $I_1$ .

L'étage dérivateur 25 se comporte comme un filtre passe-haut. La figure 7 montre le diagramme de

Bode d'un tel étage en choisissant une constante de temps  $R'C'$  égale à une microseconde.

Le bruit basse fréquence (bruit en  $1/F$ ) est atténué mais pas le bruit haute fréquence, car le  
5 dérivateur ne constitue que la partie passe-haut d'un filtre passe-bande.

Le troisième étage 26 est un étage intégrateur susceptible d'être commandé par commutation et qui réalise la fonction mathématique intégrale. A la  
10 différence du circuit de traitement de l'art antérieur, dans le circuit de traitement selon l'invention c'est bien une intégration que l'on veut réaliser pas seulement une détection de l'amplitude des impulsions obtenues en sortie du filtre d'impulsions : on obtient  
15 une tension  $V_3$  image de la quantité de charges fournies par le détecteur.

L'étage intégrateur 26 comporte un intégrateur à amplificateur opérationnel  $A'2$  avec un condensateur d'intégration  $C'3$  monté entre son entrée  
20 et sa sortie. Son entrée est reliée à la sortie de l'étage dérivateur 25 par l'intermédiaire d'une résistance  $R'3$ . L'intégrateur est susceptible d'être commandé par commutation. On prévoit un premier commutateur  $SW'1$  monté entre la sortie de l'étage  
25 dérivateur 25 et la résistance  $R'3$  et un second commutateur  $SW'2$  monté en parallèle avec le condensateur d'intégration  $C'3$ . Le premier commutateur  $SW'1$  va commander la fonction intégration et le second commutateur  $SW'2$  va commander la remise à zéro de  
30 l'intégrateur. Après avoir traité des informations relatives à l'interaction d'une particule,

l'intégrateur est remis à zéro avant qu'il ne traite des informations relatives à une autre particule.

Les commutateurs SW'1, SW'2 sont commandés par un circuit logique 28 qui est activé par un signal ACT apparaissant en sortie d'un comparateur 29, ce comparateur étant destiné à comparer le signal V2 présent en sortie de l'étage dérivateur 25 à un seuil s', ce seuil devant être plus élevé que la tension de bruit de V2.

On rappelle que le signal V2 est un signal image du courant détecteur I1. Sur la figure 5, la référence A illustre l'allure courant détecteur I1, la référence B illustre l'allure du signal V1 en sortie de l'étage préamplificateur, la référence C illustre l'allure du signal V2 en sortie de l'étage dérivateur, la référence D illustre l'allure du signal V3 en sortie de l'étage intégrateur.

Avant l'instant t'0, le signal V2 est inférieur au seuil s', le premier commutateur SW'1 est ouvert et le second commutateur SW'2 est fermé. Le signal V3 en sortie de l'intégrateur est à un niveau bas. Le comparateur 29 délivre le signal d'activation ACT de l'intégrateur. Avant l'instant t'0 le signal ACT a un niveau bas. Ce signal est illustré avec la référence E de la figure 5.

A l'instant t'0, le signal V2 dépasse le seuil s', le signal ACT en sortie du comparateur 29 passe à un niveau haut, active le circuit logique 28 qui commande la fermeture du premier commutateur SW'1 et l'ouverture du second commutateur SW'2.

L'intégrateur commence à intégrer et délivre un signal  $V_3$  tel que :

$$V_3(t) = -\frac{1}{R_3 C_3} \int V_2(t) dt \quad (4)$$

En combinant les expressions (3) et (4) il

5 vient :

$$V_3(t) = \frac{R_1 C_1}{R_3 C_3 C_1} \int I_1(t) dt \quad (5)$$

En combinant les expressions (5) et (1) il

vient :

$$V_3(t) = -\frac{R_1 C_1}{R_3 C_3 C_1} Q' \quad (6)$$

10 Le signal  $V_3(t)$  délivré par l'étage dérivateur est proportionnel à la quantité de charges qui a interagi, pour une particule, avec le détecteur et donc à l'énergie de la particule.

A l'instant  $t'_1$  le signal  $V_2$  repasse en  
 15 dessous du seuil  $s'$ , le premier commutateur  $SW'_1$  est ouvert et le second commutateur  $SW'_2$  conserve son état ouvert. Le signal  $V_3(t) = -\frac{R_1 C_1}{R_3 C_3 C_1} \int I_1(t) dt$  est  
 sauvegardé dans une mémoire 27.1 d'un étage d'acquisition 27 de la chaîne de spectrométrie objet de  
 20 l'invention, cet étage d'acquisition étant branché en sortie de l'étage d'intégration 26. Le signal  $V_3$  est au préalable numérisé par un convertisseur analogique numérique 27.2 qui se trouve dans l'étage d'acquisition 27. La durée pendant laquelle s'effectue l'acquisition  
 25 est commandée par un signal en impulsions  $CLACQ$  délivré par le circuit logique 28 à l'instant  $t'_1$  et dont la durée  $(t'_2 - t'_1)$  est suffisante pour que l'acquisition puisse se faire correctement. Le signal  $CLACQ$  est

illustré avec la référence F sur la figure 5. Ce signal présente un front montant à l'instant  $t'1$ .

Lorsque cette durée est écoulée, c'est à dire à l'instant  $t'2$ , le signal CLACQ présente un front descendant. L'intégrateur est remis à zéro et le signal V3 repasse au niveau bas. L'intégrateur est prêt à traiter un signal provenant d'une autre particule. L'intégrateur ne fonctionne que pendant une durée sensiblement égale à la durée  $T_m$  des impulsions du courant détecteur I1. En d'autres termes l'intégration n'a lieu que pendant la durée de vie des impulsions du courant détecteur I1.

L'ensemble formé de l'étage dérivateur et de l'étage intégrateur forme un filtre passe-bande. Mais ce qui est très intéressant est que les constantes de temps du filtre passe-bande sont auto-adaptatives en fonction de la forme du courant détecteur I1. Cet avantage est obtenu grâce au fait que l'intégration n'a lieu que sensiblement pendant la durée  $T_m$  des impulsions du courant détecteur I1.

La figure 8 illustre le diagramme de Bode de deux filtres passe-bande de circuits de traitement selon l'invention. La fréquence centrale du filtre s'exprime par

$f_c = 0,44/T_m$ , son gain par

$G_{dc} = T_m/R'3C'3$  et le temps de traitement d'une particule, en l'occurrence un photon, est de  $1,5 \mu s$  y compris la remise à zéro.

La courbe A est obtenue avec  $T_m = 0,1 \mu s$  et la courbe B pour  $T_m = 1 \mu s$ . Pour chaque particule, quel que soit son lieu d'interaction avec le détecteur, la

durée  $T_m$  du courant détecteur  $I_1$  ou le temps de montée en sortie du préamplificateur vient caler la fréquence centrale  $f_c$  du filtre passe-bande, ce qui permet de garder un rapport signal sur bruit optimal. Un tel  
5 circuit de traitement est auto-adaptatif au détecteur avec lequel il coopère dans la chaîne de spectrométrie. Il s'adapte au détecteur quelle que soit son épaisseur sans aucun réglage d'un quelconque paramètre extérieur.

Les courbes des figures 7 et 8 ont été  
10 obtenues avec un prototype chaîne de spectrométrie selon l'invention prenant la forme d'une sonde monovoie destinée à déterminer le taux de combustion d'assemblages irradiés en mesurant simultanément du Césium 137 et de l'Europium 154. Une telle sonde peut  
15 effectuer des mesures spectrométriques entre 100 keV et 2 MeV. Le détecteur est un détecteur CdZnTe en barrette d'épaisseur de 1 centimètre. Une source de rayonnement particulaire en Césium 137 a été utilisée. La courbe de la figure 9 illustre la variation du nombre de coups  
20 (c'est à dire de particules) par seconde NCD détectés par la sonde dans tout le spectre en fonction du nombre de particules par seconde NCR émises par la source et arrivant sur le détecteur. La chaîne de spectrométrie possède une bonne linéarité jusqu'à environ  $1,5 \cdot 10^6$   
25 coups/s. Au-delà, le nombre de coups/s détectés décroît alors que le nombre de coups/s arrivant sur le détecteur continue d'augmenter.

Par rapport aux performances des chaînes spectrométriques conventionnelles à fort taux de  
30 comptage par exemple de type EG&G973U (cette référence est celle d'une chaîne bien connue par les spécialistes



: elle apparaît au catalogue du fabricant ORTEC) avec un détecteur au germanium, le taux de comptage obtenu est cinq fois supérieur et ceci avec un détecteur épais dans lequel le temps de transit des particules est  
5 d'environ 1  $\mu$ s ce qui est bien plus défavorable que le détecteur au germanium.

Bien qu'un certain mode de réalisation de la présente invention ait été représenté et décrit de façon détaillée, on comprendra que différents  
10 changements et modifications puissent être apportés sans sortir du cadre de l'invention.

## REVENDICATIONS

1. Circuit de traitement pour chaîne de spectrométrie incluant un détecteur de rayonnement  
5 particulaire (21), comportant un étage préamplificateur de charges (20) recevant un courant (I1) du détecteur représentatif de la quantité de charges émises par une particule qui a interagi avec le détecteur, et un étage intégrateur (26), caractérisé en ce qu'un étage  
10 dérivateur (25) est branché entre l'étage préamplificateur de charges (20) et l'étage intégrateur (26), l'étage dérivateur (25) recevant un signal (V1) issu de l'étage préamplificateur de charges (20) et délivrant à l'étage intégrateur (26) un signal (V2)  
15 image du courant détecteur (I1), l'étage intégrateur (26) délivrant une image (V3) de la quantité de charges émises par une particule qui a interagi avec le détecteur.

20 2. Circuit de traitement selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étage préamplificateur de charges (20) comporte un amplificateur discret ou intégré (A'1) monté en intégrateur de courant.

25

3. Circuit de traitement selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'étage dérivateur (25) comporte un amplificateur opérationnel (A') monté en dérivateur.

30

4. Circuit de traitement selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'étage intégrateur (26) comporte un amplificateur opérationnel (A'2) monté en intégrateur.

5

5. Circuit de traitement selon la revendication 4, dans lequel le courant détecteur est en impulsions, caractérisé en ce que l'étage intégrateur (26) comporte des moyens de commande (28, 29, SW'1, SW'2) de la durée de l'intégration pendant des durées sensiblement égales à la durée de chaque impulsion du courant détecteur.

6. Circuit de traitement selon la revendication 5, caractérisé en ce que les moyens de commande de la durée de l'intégration comportent un premier commutateur (SW'1) inséré entre l'intégrateur et la sortie de l'étage dérivateur (25), un second commutateur (SW'2) de remise à zéro de l'intégrateur, un circuit logique (28) de commande des commutateurs, un comparateur (29) pour activer le circuit logique (28) en fonction du résultat d'une comparaison entre le signal image du courant détecteur (V2) et un seuil (s').

25

7. Chaîne de spectrométrie comportant un détecteur de rayonnement particulaire (21), caractérisée en ce qu'elle comporte en aval du détecteur (21), un circuit de traitement selon l'une des revendications 1 à 6.

30

8. Chaîne de spectrométrie selon la revendication 7, caractérisée en ce qu'elle comporte un circuit d'acquisition (27) du signal (V3) délivré par l'étage intégrateur (26) du circuit de traitement, ce  
5 circuit d'acquisition (27) comportant un convertisseur analogique numérique (27.2) suivi d'une mémoire (27.1).

9. Chaîne de spectrométrie selon la revendication 8, caractérisée en ce qu'un signal (ACT) délivré par le circuit logique (28) conditionne la  
10 durée de l'acquisition.

10. Chaîne de spectrométrie selon l'une des revendications 7 ou 9, caractérisée en ce que le  
15 détecteur (21) est inséré avec une résistance (R'p) dans un montage de pont diviseur.

11. Chaîne de spectrométrie selon l'une des revendications 7 à 10, caractérisée en ce que le  
20 détecteur (21) est un détecteur à semi-conducteur.

12. Chaîne de spectrométrie selon la revendication 11, caractérisée en ce que le matériau semi-conducteur est choisi dans le groupe comprenant  
25 CdZnTe, CdTe:Cl, CdTe:In.

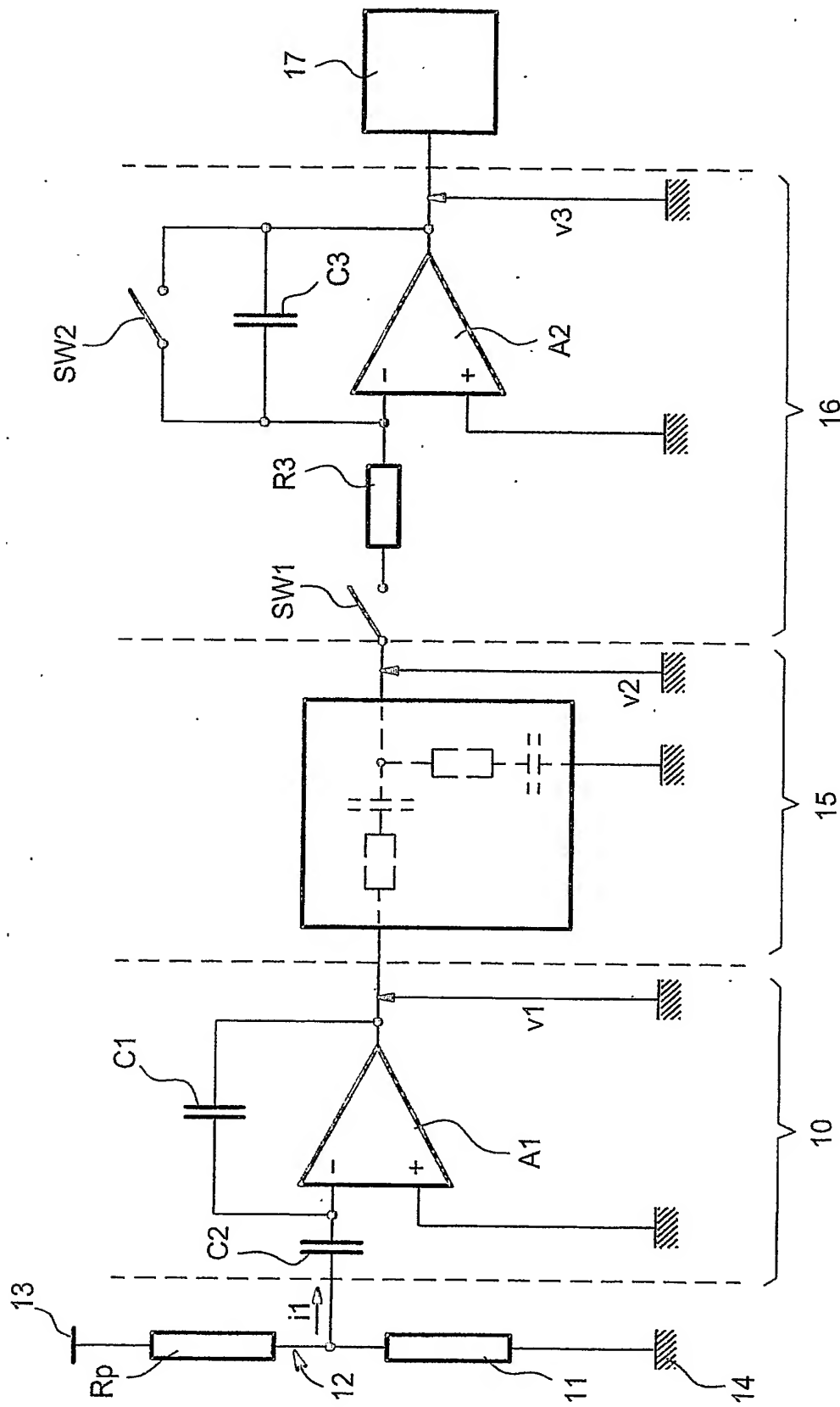


FIG. 1

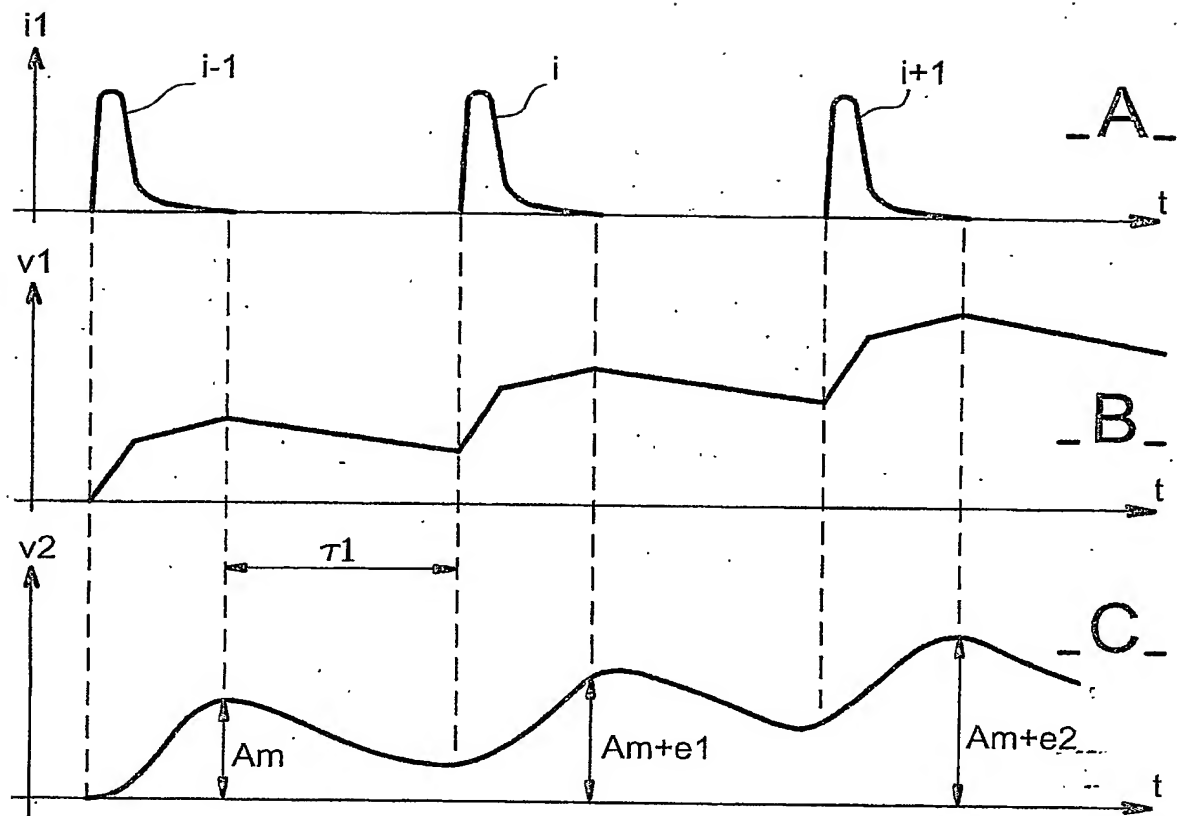


FIG. 2

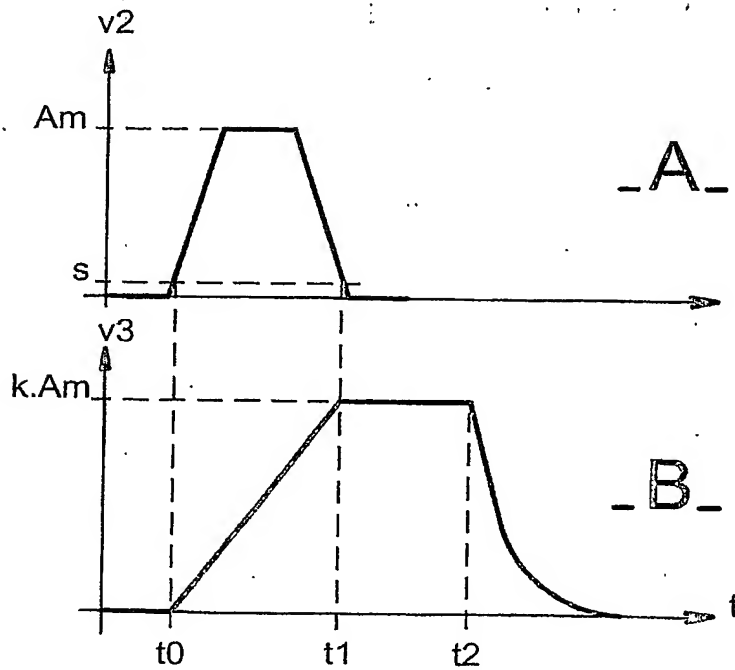


FIG. 3



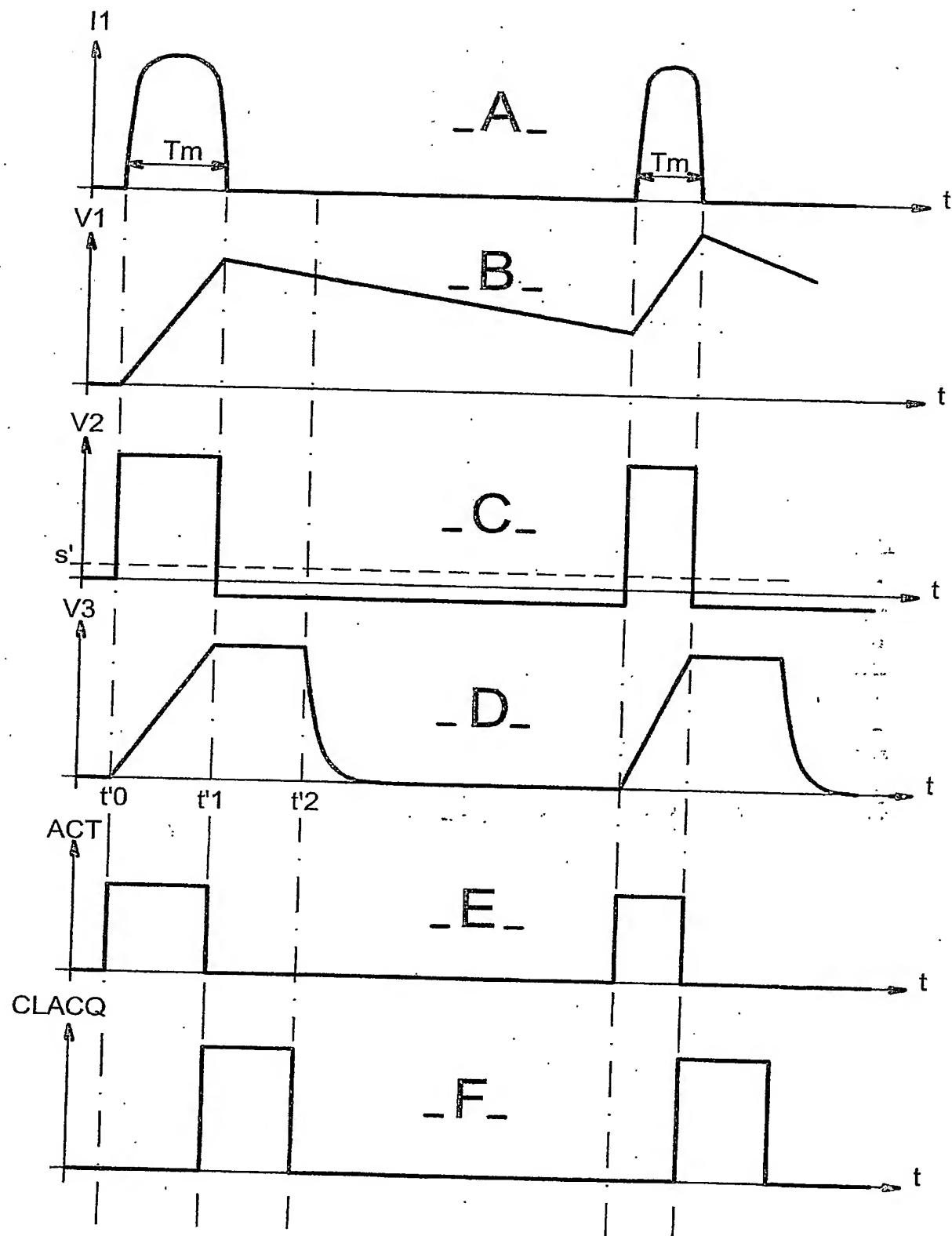


FIG. 5



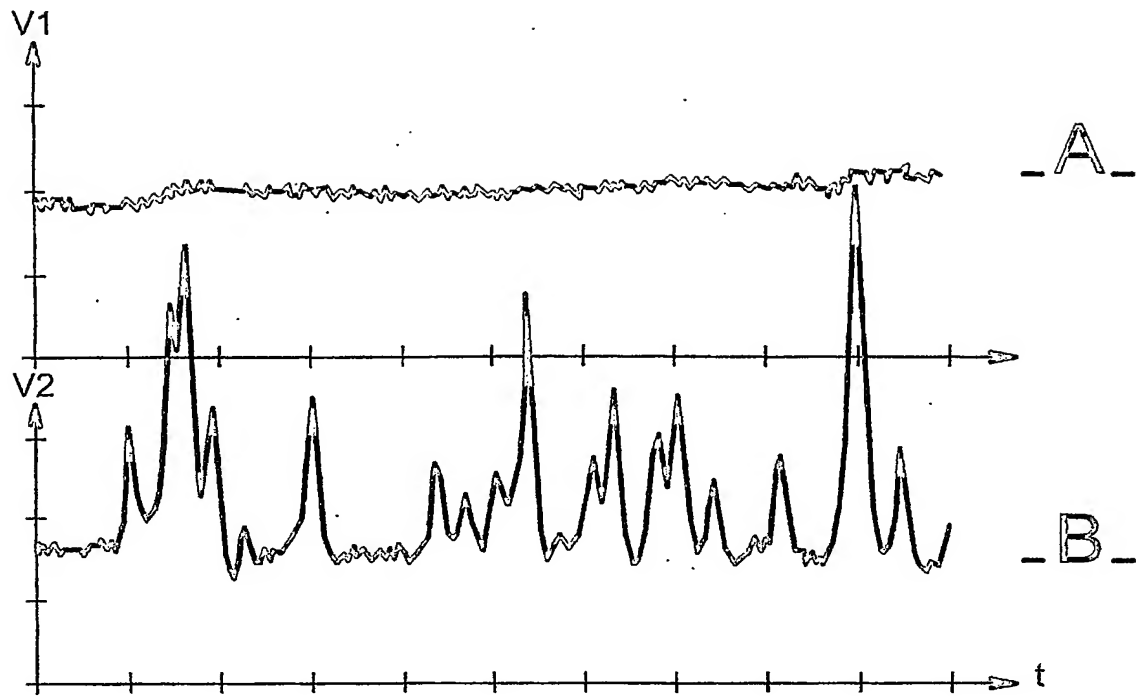


FIG. 6

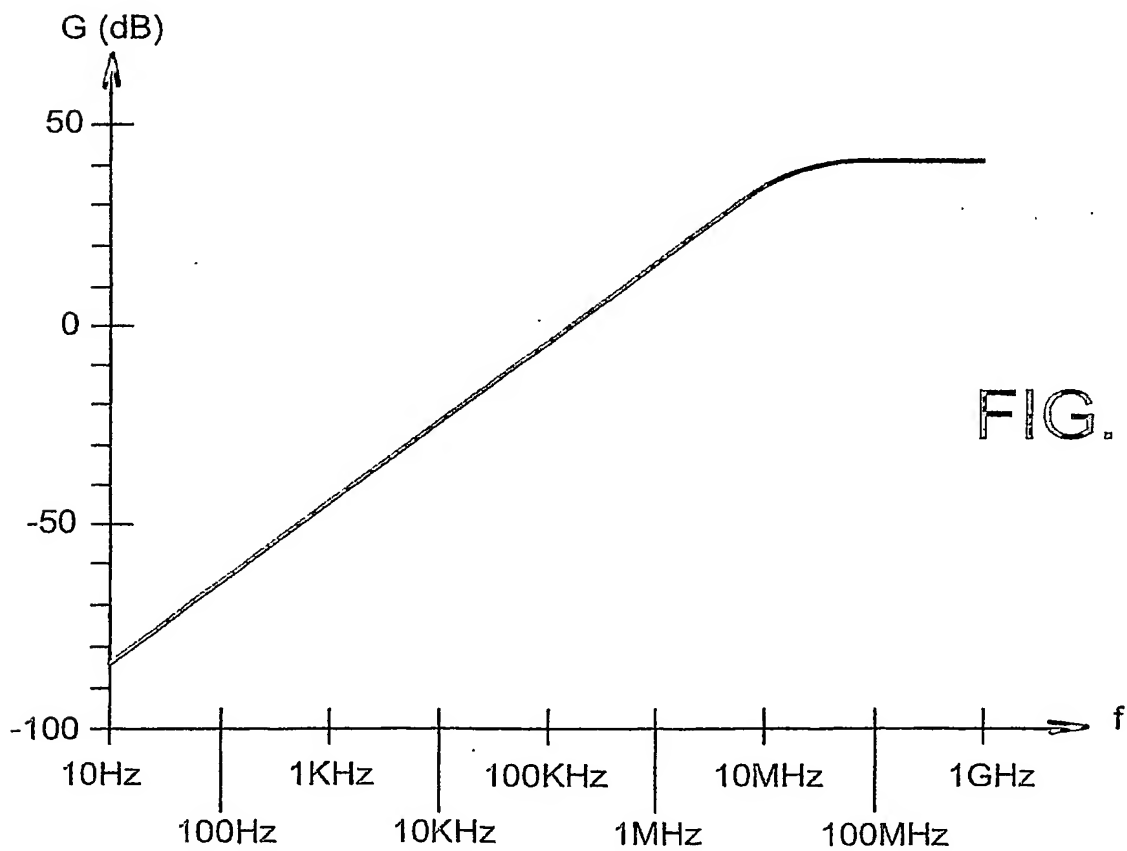


FIG. 7

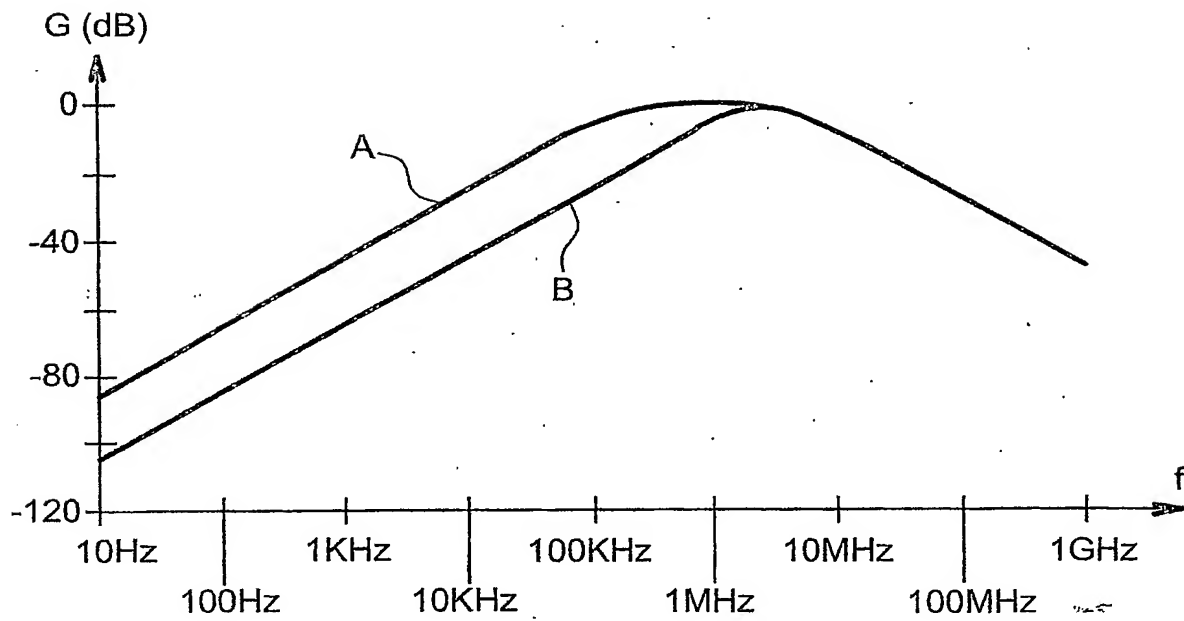


FIG. 8

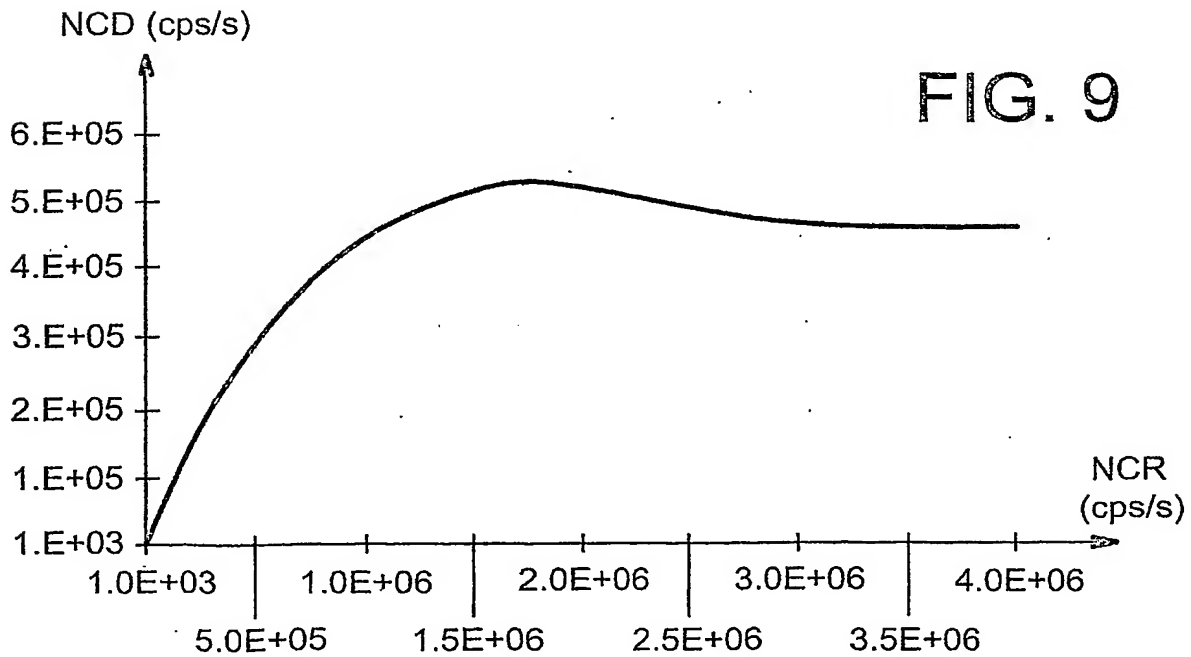


FIG. 9

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

**DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S)** Page N° 1.../1...

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

09 113 0 W / 270501

Vos références pour ce dossier (facultatif)

B 14222.3/CS DD 2401

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

CIRCUIT DE TRAITEMENT AMELIORE POUR CHAINE DE SPECTROMETRIE ET CHAINE DE SPECTROMETRIE UTILISANT UN TEL CIRCUIT.

**LE(S) DEMANDEUR(S) :**

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE  
31-33 rue de la Fédération  
75752 PARIS

**DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :**

<input checked="" type="checkbox"/> 1		Nom	OUVRIER-BUFFET
		Prénoms	Patrice
Adresse	Rue	100,route du Village ENTREDOZON	
	Code postal et ville	[7][4][4][1][0] SAINT JORIOZ	
		Société d'appartenance (facultatif)	
<input checked="" type="checkbox"/> 2		Nom	RUSTIQUE
		Prénoms	Jacques
Adresse	Rue	34 rue Pacalaire	
	Code postal et ville	[3][8][1][7][0] SEYSSINET	
		Société d'appartenance (facultatif)	
<input checked="" type="checkbox"/> 3		Nom	VERGER
		Prénoms	Loïck
Adresse	Rue	49 rue du Vercors	
	Code postal et ville	[3][8][0][0][0] GRENOBLE	
		Société d'appartenance (facultatif)	

S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.

**DATE ET SIGNATURE(S)**

**DU (DES) DEMANDEUR(S)**

**OU DU MANDATAIRE**

(Nom et qualité du signataire)

PARIS LE 25 Novembre 2002  
CH. SIMONNET



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

PCT Application  
**PCT/FR2003/050125**



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**